

УДК 621.165

**РЕГУЛИРУЕМЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБИНЫ
ADJUSTABLE TURBINE FLOW SEALS**

К.А. Мельник, Д.О. Маер

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

K. Melnik, D. Maer

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в данной статье рассмотрены типы уплотнений проточной части турбины, в частности отдельно описываются регулируемые уплотнения.

Abstract: this article discusses the types of seals in the flow path of the turbine, in particular, adjustable seals are described separately.

Ключевые слова: уплотнения, протечки, КПД, модернизация, лабиринтовые, сотовые, регулируемые.

Keywords: seals, leaks, efficiency, modernization, labyrinth, honeycomb, adjustable.

Введение

С момента создания паровых турбин, инженеры-проектировщики создают новые способы повышения экономичности проточной части цилиндров турбин. Один из способов повышения экономичности - это уменьшение потерь рабочего тела. В проточную часть турбины устанавливают надбандажные, диафрагменные и концевые уплотнения, которые препятствуют протечке пара из цилиндров турбины. Наиболее популярными у отечественных производителей турбин, до сих пор являются прямоточные, гребенчатые, лабиринтовые и сотовые уплотнения. В последнем десятилетии был предложен структурно новый способ уменьшения протечек пара между ротором и статором турбины, так называемые регулируемые уплотнения.

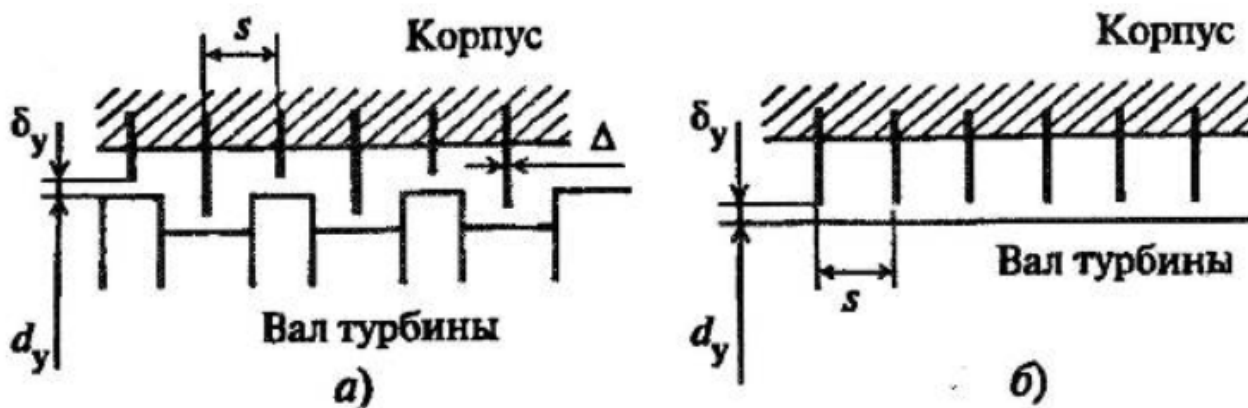
Основная часть

В турбине существуют основные места установки уплотнений, которые делятся по их назначению:

- концевые уплотнения цилиндров турбин;
- диафрагменные уплотнения;
- средние уплотнения (устанавливаются на выходе ротора из внутреннего цилиндра, используются зачастую только в ЦВД);
- надбандажные уплотнения;
- масляные уплотнения;
- и другие.

Наиболее популярными, из-за своей простоты и дешевизны, являются лабиринтовые уплотнения, которые из-за конструктивного исполнения делят: на ступенчатые и на прямоточные. В прямоточных лабиринтовых уплотнениях сужения между ротором и статором выполнено с помощью «гребешков» расположенных на одном уровне по всей длине уплотнения. В ступенчатых лабиринтовых уплотнениях «гребни» имеют разную длину соответственно

впадинам и выступам на роторе турбины. Радиальный зазор при использовании данных типов уплотнений колеблется от 1,0 мм до 3,0 мм и выше.



а – ступенчатые, б – прямоточные

Рисунок 1 – Ступенчатые и прямоточные лабиринтовые уплотнения

К лабиринтовым уплотнениям относятся и уплотнения с так называемыми сотовыми вставками. Применение таких уплотнений позволяет достигать уменьшению зазоров между ротором и статором турбины с 1,5 мм до 0,5 мм, что уменьшает количество протечек пара, и соответственно увеличивает КПД турбины. Но использование данного типа уплотнений, возможно лишь при соблюдении оптимальных конструктивных параметров сотовой структуры с учетом технологии, материала и методов установки в паровых и газовых турбинах.

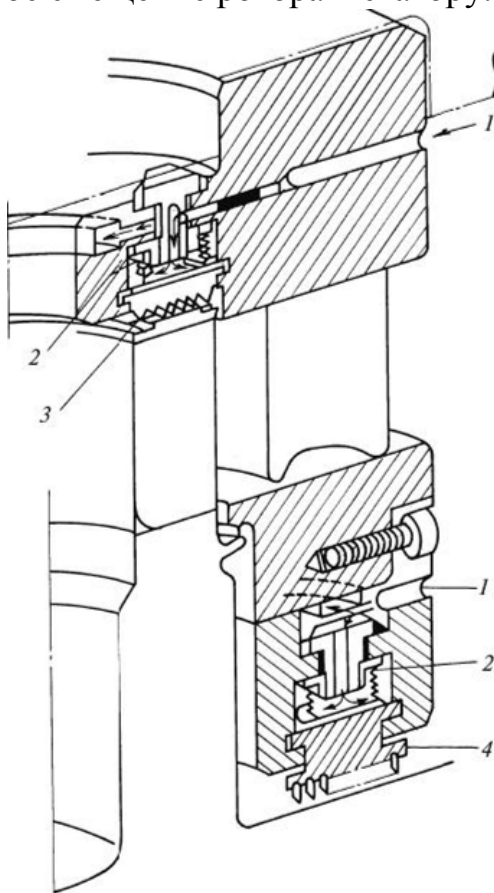


Рисунок 2 – Сотовые диафрагменные уплотнения

Данные виды диафрагменных уплотнений, производимых российскими компаниями, выполняются с установкой плоских пружин, которые в свою очередь прижимают сегменты уплотнения к ротору. Однако при пусках и остановках турбины, при использовании данного типа уплотнений могут возникать задевания гребней о ротор, с их последующей деформацией, что в дальнейшем может вызывать протечки рабочего тела и соответственно уменьшение КПД. В последнее десятилетие большое количество фирм, в

частности General Electric и Toshiba, разработали и используют в своих турбинах регулируемые уплотнения.

Принцип работы данных регулируемых уплотнений заключается в том, что при пуске и остановке паровой турбины, сегменты уплотнений в диафрагмах отжимаются специальными пружинами таким образом, что не происходит задевания сегментов уплотнений ротором. После приведения работы турбины к номинальным параметрам в полость пазов под сегменты уплотнений подается пар с давлением выше, чем в проточной части, и данным паром сегменты уплотнений прижимается к ротору, что уменьшает зазоры до номинального значения. Таким образом, сохраняется целостность сегментов уплотнений и обеспечение минимальных зазоров при работе турбины. Данные уплотнения целесообразно устанавливать на участках вблизи середины пролета ротора, где имеет место максимальное смещение ротора к статору.



1 – подвод пара повышенного давления; 2 – отжимающие пружины; 3 – периферийное (надбандажное) уплотнение; 4 – диафрагменное лабиринтное уплотнение

Рисунок 1 – Разрез турбины с регулируемым уплотнением

В настоящее время при модернизации большинства паровых турбин в постсоветских странах, зачастую лабиринтовые уплотнения заменяют на сотовые, что уменьшает протечки пара через уплотнения, но не решает главную проблему всех лабиринтовых и сотовых уплотнений, а именно задевания уплотнений при пуске и остановке турбины. Что в итоге уменьшает время работы турбины между ремонтами. Более целесообразно модернизировать элементы проточной части турбины, с установкой регулируемых уплотнений. Данная модернизация может быть реализована, без существенного изменения

корпуса турбины российского производства, что упрощает замену старых уплотнений на регулируемые. Кроме исключения деформации уплотнений, данные регулируемые уплотнения совершенствуют аэродинамику паронаводящего тракта, стопорных и регулирующих клапанов, систем паровпуска и выпуска пара из цилиндров, что соответственно стабилизирует поток пара и повышает КПД турбины.

Таблица 1 – Способы экономии топлива в ПТУ

Способ повышения КПД турбины	Экономия топлива, %
Увеличение числа гребней в уплотнениях ступеней	0,50
Использование регулируемых зазоров в уплотнениях	0,35
Организация направленных корневых <u>межвенцовых</u> протечек в ступенях дисковой конструкции	0,60
Всего	1,45

Заключение

Использование регулируемых уплотнений экономически и технически выгодно при модернизации турбин, произведенных российскими заводами. В плюсы использования данных уплотнений можно внести: небольшую стоимость, улучшение аэродинамических характеристик, уменьшение протечек рабочего тела и исключение деформации уплотнений, путем задевания их ротором.

Литература

1. Турбины тепловых и атомных электрических станций: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Костюк [и др.]; под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – М: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.
2. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов / А.Г. Костюк [и др.]; под ред. А.Г. Костюка. – М: Издательский дом МЭИ, 2016. – 557 с.
3. Применение регулируемых диафрагменных уплотнений в ЧВД и ЧСД [Электронный ресурс] / Применение регулируемых диафрагменных уплотнений в ЧВД и ЧСД. – Режим доступа: https://ozlib.com/857679/tehnika/primenenie_reguliruemyh_diafragmennyyh_uplotneniy. – Дата доступа: 10.09.2022.